

# 光强和营养盐对伪矮海链藻昼夜节律变化的影响\*

## II. 碳水化合物、蛋白质及生化组成比

杨小龙 朱明远

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266003)

**提要** 于1989年1月—1989年8月,用连续培养和半连续培养方法进行了伪矮海链藻碳水化合物、蛋白质和生化组成比率的日变化同光强、营养盐关系的研究。结果表明,碳水化合物、碳水化合物同叶绿素 $a$ 和蛋白质的比值均呈现光照期升高而黑暗期降低的昼夜节律;蛋白质在光照期和黑暗期均有合成,但是,光照期的增长速率大于黑暗期的;蛋白质同叶绿素 $a$ 的比值无明显的日变化。各指标的日变化幅度均随光强的增强和营养盐供应速率的增加而升高,因此,光和营养盐是影响各指标日变化的重要因素。

**关键词** 伪矮海链藻 昼夜节律 碳水化合物 蛋白质 生化组成比

浮游硅藻生化组分及其比率的日变化不仅影响着硅藻本身的生长和代谢,而且对它的同化效率也产生重要影响。因此,研究以硅藻为主要成员的生化组分的日变化对了解它们在自然水域中的生长和生理状态具有重要意义。本文研究了光强和营养盐对一种海洋硅藻——伪矮海链藻碳水化合物、蛋白质及生化组成比率的日变化的影响,并进一步探讨了其日变化机制。

### 1 材料和方法

伪矮海链藻 (*Thalassiosira pseudonana*) 的连续培养和半连续培养方法同杨小龙等(1992)。叶绿素 $a$ 测定采用 Cullen 等(1986)的方法;碳水化合物的测定采用硫酚法(Dubios, 1956),以葡萄糖作标准;蛋白质测定采用加热双缩脲福林酚法(Dorsey et al., 1978),以牛血清蛋白作标准。用比增长速率( $\mu_x$ )表示生化组分的日变化幅度(杨小龙等,1992)。 $\mu_x^C, \mu_x^P, \mu_x^T$ 依次表示指标 $x$ [碳水化合物(CHO)、蛋白质(PRO)、碳水化合物同叶绿素 $a$ 的比值(CHO/Chl $a$ )、蛋白质同叶绿素 $a$ 的比值(PRO/Chl $a$ )、碳水化合物和蛋白质的比值(CHO/PRO)]在光照期、黑暗期和24h日平均的比增长速率。

### 2 结果和讨论

#### 2.1 碳水化合物累积的昼夜节律及其机制

\* 美国海军研究基金资助项目, N14-87-K-0311-1。

收稿日期: 1990年6月21日;接受日期: 1992年11月18日。

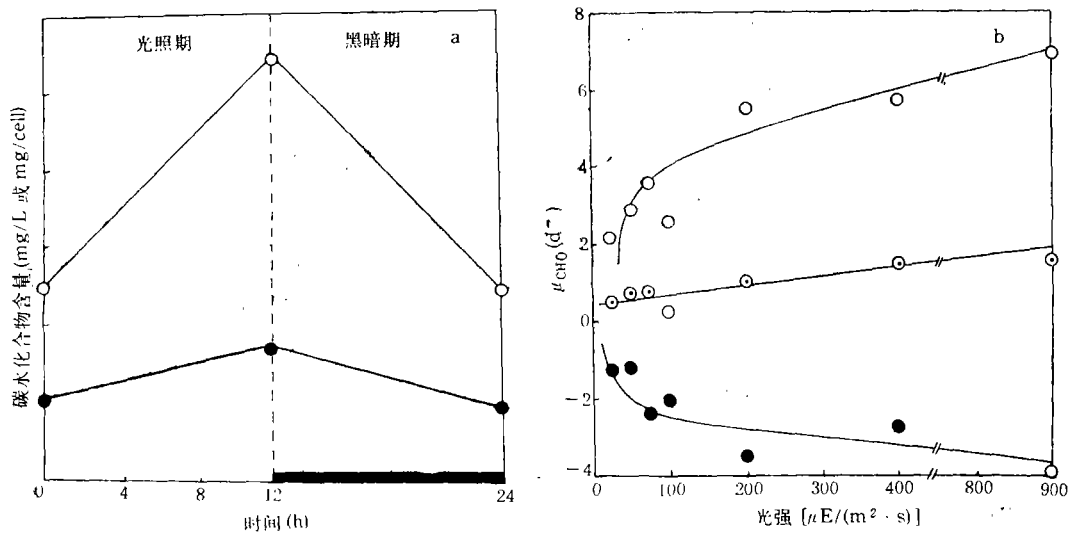


图 1 不同光强下伪矮海链藻碳水化合物含量的日变化

Fig. 1 The diel variation of carbohydrate under different light intensities in *T. Pseudonana*

a. 碳水化合物含量:  $\circ$ —高光强,  $\bullet$ —低光强; b. 比增长速率。  
 $\circ$ — $\mu_{CHO}^L$ ,  $\bullet$ — $\mu_{CHO}^D$ ,  $\odot$ — $\mu_{TCHO}$

**2.1.1 光强的影响** 在各光强下伪矮海链藻的碳水化合物含量均呈现光照期因合成而升高、黑暗期因消耗而降低的昼夜节律 (图 1a); 碳水化合物在光照期的累积速率 ( $\mu_{CHO}^L$ ) 及在黑暗期的消耗速率 ( $\mu_{CHO}^D$ ) 均随光强的增强而增加 (图 1b)。

伪矮海链藻碳水化合物在白天合成、夜间消耗的日变化规律说明光强对所研究的藻碳水化合物在光照期的累积和在黑暗期的消耗均有促进作用, 这一研究结果与 Handa (1969) 的一致。最高光强下, 伪矮海链藻在光照期的比增长速率为最低光强下的 65 倍 (图 1b)。

碳水化合物在夜间的消耗主要用于提供细胞生长和重要生化组分 (如蛋白质) 合成所需的能量和碳骨架 (Cuhel et al., 1985)。关于碳水化合物在光照期的累积是由于藻类细胞生长所需的能量过剩所致 (Cook, 1966), 还是藻类在光暗周期下充分利用能量的一种最佳对策 (Foy et al., 1980), 至今还未有定论。根据实验结果我们认为: 由于随着光强的增强, 伪矮海链藻碳水化合物在光照期累积速率的增加幅度与在黑暗期消耗速率的增加幅度相同 (图 1), 使得生长在高光强下的藻, 在黑暗期的生长速率明显高于低光强下生长的藻 (杨小龙等, 1992)。这是伪矮海链藻合理、均匀地分配能量而使其在光、暗周期下均能达到最大生产的一种最佳对策。

**2.1.2 营养盐的影响** 试验结果表明, 碳水化合物在光照期的比增长速率与生长速率成正比, 这是值得注意的现象。在光照期开始时, 伪矮海链藻的细胞碳水化合物含量在低生长速率下要比在高生长速率下的高, 然而其日变化幅度却比高生长速率下的低 (图 2)。在最高生长速率 ( $1.11d^{-1}$ ) 下,  $\mu_{CHO}^L$  为最低生长速率 ( $0.20d^{-1}$ ) 下的 22 倍。

有关营养盐对浮游植物碳水化合物日变化的影响, 目前还很少有人研究过。Cullen

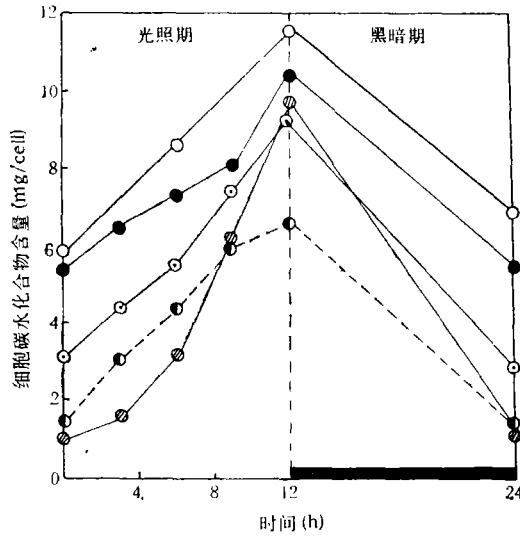


图2 不同生长速率下伪矮海链藻碳水化合物的日变化

Fig. 2 The diel variation of carbohydrate under different growth rate in *T. pseudonana*

—○—0.20d<sup>-1</sup>, —●—0.43d<sup>-1</sup>, —○—0.59d<sup>-1</sup>, ...●...0.84d<sup>-1</sup>, —●—1.11d<sup>-1</sup>.

等(1985)研究曾发现,于静止期(营养盐缺乏)甲藻 *Heterocapsa* 所含碳水化合物在夜间的消耗速率明显低于指数生长期。本实验结果可以解释上述现象,当营养盐缺乏时,藻的生长缓慢、光合速率降低、营养盐的吸收减少;因此,在光照期合成的碳水化合物以及在黑暗期用于细胞生长和蛋白质合成所需的碳水化合物均明显减少,最终导致碳水化合物日变化幅度的降低。

## 2.2 蛋白质合成的昼夜节律

### 2.2.1 光强的影响

在高光强和低光强下,蛋白质在光照期和黑暗期均有合成且光照期的合成速率高于黑暗期;细胞蛋白质含量在一天中变化不明显(图 3 a)。在低光强下,蛋白质比增长率随光强增强而升高,于  $200 \mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时达到最高值;随后,随光强的增强,光照期、黑暗期和日平均蛋白质比增长率均略有降低(图 3b)。

蛋白质在光照期和黑暗期均可合成的现象与人们对其它浮游植物的研究结果相吻合 (Cuhel, 1985; Hitchcock, 1980)。浮游植物蛋白质的夜间合成主要是通过利用光照期累积的碳水化合物作为能量和碳骨架并吸收硝酸盐(或铵盐)进行的。随着光强的增强,浮游植物可以累积更多的碳水化合物(图 1a, b),从而使它们可合成更多的蛋白质以用于细胞的生长。

### 2.2.2 营养盐的影响

伪矮海链藻的蛋白质含量只有在最高生长速率 ( $1.11\text{d}^{-1}$ ) 下才有明显的昼夜节律,在较低生长速率 ( $0.20\text{d}^{-1}$ ) 下则无明显的日变化。总的来说,蛋白质不象碳水化合物那样昼夜变化显著,它是浮游植物细胞中较为稳定的生化组分。

## 2.3 生化组分比率

### 2.3.1 CHO/Chl<sub>a</sub>

尽管,碳水化合物和叶绿素 *a* 在光照期均有合成,但是,本实验表

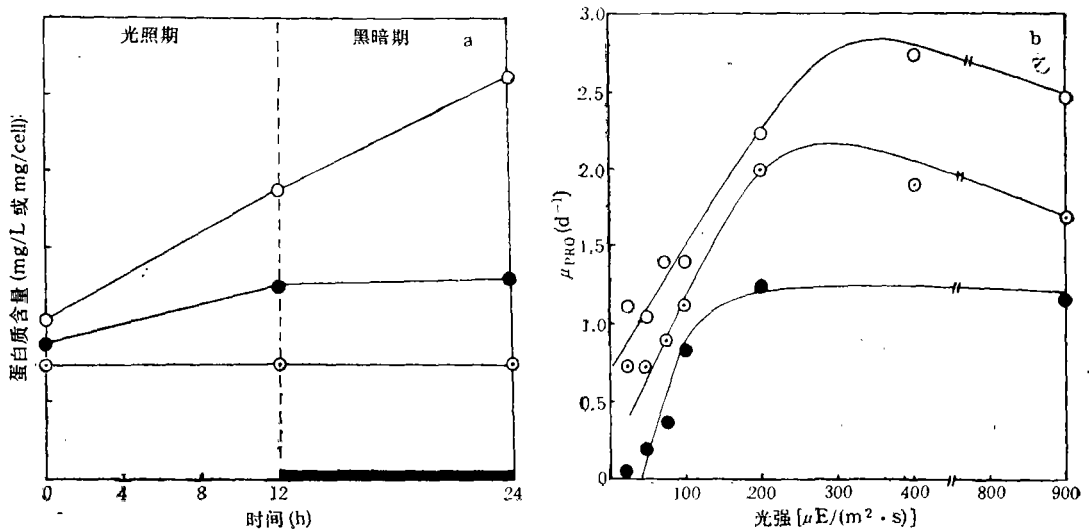


图 3 不同光强下伪矮海链藻蛋白质的日变化

Fig. 3 The diel variation of protein under different light intensities in *T. pseudonana*

a. 蛋白质含量: —○—高光强(mg/L), —●—低光强(mg/L), —○—高、低光强 (mg/cell);  
b. 比生长速率, 标记同图 1 b.

明, 碳水化合物的合成速率明显高于叶绿素 *a* 的, 从而使 CHO/Chl*a* 在各种光强和营养条件下均呈现光照期升高、黑暗期降低的现象。随着光强和生长速率的增高, CHO/Chl*a* 的比增长速率亦增加。

CHO/Chl*a* 常可作为海洋浮游植物生理状态和光适应的指标(Cullen et al 等, 1986)。从本实验结果来看, CHO/Chl*a* 在光照期可有高达 10 倍的变化, 说明光和营养盐对 CHO/Chl*a* 的日变化也产生了重要影响。因此, 在将 CHO/Chl*a* 这一指标应用于海洋浮游植物自然种群的研究时, CHO/Chl*a* 的昼夜节律变化及其与光强、营养盐的相互作用是必须考虑的因素。

**2.3.2 PRO/Chl*a*** PRO/Chl*a* 是浮游植物色素化程度的指标 (Chan, 1978), 光强和营养盐对其影响很大。然而, 在各种光强和营养状态下, 伪矮海链藻的 PRO/Chl*a* 均无明显日变化 ( $\mu_{\text{PRO/Chl}a}^{\text{L}}$  趋近于零)。这说明, 蛋白质和叶绿素 *a* 的日变化幅度基本相同。

**2.3.3 CHO/PRO** 在各种光强和营养状态下, CHO/PRO 均呈现光照期增加而黑暗期降低的日变化现象。随着光强的增强,  $\mu_{\text{CHO/PRO}}^{\text{L}}$  呈双曲线形式增加; 随着生长速率的增加,  $\mu_{\text{CHO/PRO}}^{\text{L}}$  则呈直线增加。

CHO/PRO 是海洋浮游植物营养状态的重要指标。Myklestad (1974) 对 9 种硅藻的研究表明, 当藻类由指数生长期到氮缺乏的静止期时, CHO/PRO 从 0.50 升高到 2.00—10.00, 增加了 4—20 倍。Hitchcock (1978) 对 Marragansett 湾海洋浮游植物自然种群的研究也发现, 在冬—春季浮游植物大量繁殖、环境中的营养盐消耗殆尽后, CHO/PRO 由 0.25—2.00, 升高了 8 倍。然而, 根据本实验结果, 生长在高光强和营养盐较充足条件下的藻, 其 CHO/PRO 在一天中可有 7—10 倍的变化, 这种变化幅度与因营养盐缺乏引起的 CHO/PRO 的变化幅度几乎相同。因此, 在将 CHO/PRO 作为海洋浮游植物营养

状态指标时,取样时间是应该考虑的因素。

### 3 结语

本实验结果表明,光和营养盐对海洋浮游硅藻的生化组分及其比率的日变化有着十分重要的影响。因此,在研究海洋浮游植物的生长和代谢时,浮游植物生化组分的日变化及其与光、营养盐的关系是必须考虑的重要因素。

### 参 考 文 献

- 杨小龙, 1992, 光强和营养盐对伪矮海链藻昼夜节律变化的影响 I. 细胞分裂、叶绿素 *a* 及活体荧光特性, 海洋与湖沼, **24**(1): 87—92。
- Chan, A. T., 1978, Comparative physiological study of marine diatoms and dinoflagellates in relation to irradiance and cell size I. growth under continuous light, *J. Phycol.*, **14**: 396—402.
- Cook, J. R., 1966, Photosynthetic activity during the division cycle in synchronized *Euglena gracilis*, *Plant Physiol.*, **41**: 821—825.
- Cuhel, R. L. et al., 1985, Night synthesis of protein by algae, *Limnol. Oceanogr.*, **29**: 731—744.
- Cullen, J. J. et al., 1985, Migration: Mechanism and Adaptive Significance, The University of Texas at Austin, pp. 135—152.
- Cullen, J. J. et al., 1986, A technique to assess the harmful effects of sampling and contaminant for determination of primary production, *Limnol. Oceanogr.*, **31**: 149—156.
- Dorsey, T. et al., 1978, Measurement of phytoplankton-protein content with the heated biuret-foolin assay, *J. Phycol.*, **14**: 167—171.
- Dubois, M. K. et al., 1956, Colorimetric method for determination of sugar and related substances, *Analyt. Chem.*, **28**: 350—356.
- Foy, R. H. et al., 1980, The role of carbohydrate accumulation in the growth of planktonic *Oscillatoria* species, *Br. Phycol. J.*, **17**: 183—193.
- Handa, N., 1969, Carbohydrate metabolism in the marine diatom *Skletonema costatum*, *Mar. Biol.*, **4**: 208—214.
- Hitchcock, G. L., 1978, Labelling pattern of carbon-14 in net plankton during a winter-spring bloom, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **31**: 141—153.
- Hitchcock, G. L., 1980, Diel variation in chlorophyll *a*, carbohydrate and protein content of diatom *Skletonema costatum*, *Mar. Biol.*, **57**: 271—278.
- Myklestad, S., 1974, Production of carbohydrate by marine planktonic diatoms I. comparisons of nine different species in culture, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **15**: 261—274

# EFFECTS OF LIGHT AND NUTRIENT ON THE DIEL VARIATION OF *THALASSIOSIRA PSEUDONANA*

## II. CARBOHYDRATE, PROTEIN AND RATIO OF BIOCHEMICAL COMPONENTS

Yang Xiaolong, Zhu Mingyuan

(First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266003)

### ABSTRACT

During the period from January 1989 to August 1989 continuous and semi-continuous culture methods were used to study the relationships between light and nutrient and the diel variation of carbohydrate, protein and ratios of biochemical components in *T. pseudonana*. The results indicate that the diel rhythm of all the parameters studied coincided with the light and dark cycles. Carbohydrate, CHO/Chl<sub>a</sub> and CHO/PRO exhibited a diel rhythm of increasing rate during the light period and decreasing during the dark period. Protein was continuously synthesized throughout the day and night, whereas, its increasing rate was greater in the light period than that in the dark period. The cellular content of protein and PRO/Chl<sub>a</sub> ratio were relatively constant during the day.

At low light intensity, the specific increase rates of all parameters were relatively low; with increase of light intensity,  $\mu_{\text{CHO}}$ ,  $\mu_{\text{PRO}}$ ,  $\mu_{\text{CHO/PRO}}$  increased exponentially, but  $\mu_{\text{PRO/Chl}_a}$  was constant at all light intensities. At highest light intensity, with the exception of  $\mu_{\text{CHO}}$ ,  $\mu_{\text{CHO/Chl}_a}$ ,  $\mu_{\text{CHO/PRO}}$  did not show any rate decrease.  $\mu_{\text{CHO}}$ ,  $\mu_{\text{CHO/Chl}_a}$ ,  $\mu_{\text{CHO/PRO}}$  increased linearly and  $\mu_{\text{PRO}}$  increased hyperbolically with the increase of growth rate. Nutrients had no effect on the diel variation of PRO/Chl<sub>a</sub>.

It can be concluded from our experiment that light and nutrient affected the changing amplitude of diel variation in the parameters studied except PRO/Chl<sub>a</sub>. Thus light and nutrient must be considered when we study the diel variation of biochemical components and use these parameters as the index of physiological state in phytoplankton. The mechanism and significance of the diel variation of these parameters are also discussed in this paper.

**Key words** *Thalassiosira pseudonana* Diel rhythm Carbohydrate Protein Ratios of biochemical components